

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00828

摄食水平对食蚊鱼生长、卵巢发育和能量收支的影响

曾祥玲, 林小涛, 夏新建, 许忠能, 孙军

暨南大学 水生生物研究所, 热带亚热带水生生态工程教育部工程研究中心, 广东 广州 510632

摘要: 在室内(27.5 ± 0.5)℃水温下设高、中和低3个摄食水平, 研究雌性食蚊鱼(*Gambusia affinis*)幼鱼至初次性成熟期间的生长发育和能量收支, 为探讨食蚊鱼的环境适应性和生态入侵机制提供基础数据。结果显示: 初次性成熟雌性食蚊鱼的体长、体质量、丰满度、特定生长率、肝指数、性腺系数、成熟卵子数量和鱼体能量密度均随摄食水平增加显著增加; 低水平摄食组雌性食蚊鱼初次性成熟的个体最小, 体长为(17.98 ± 0.98) mm, 体质量为(104.41 ± 3.31) mg, 但成熟卵子干重和卵径均不受摄食水平显著影响。实验期间, 干、湿物质饵料转换效率均随摄食水平增加呈下降趋势, 低水平摄食组饵料转换效率显著高于高水平摄食组。随摄食水平减少, 食蚊鱼摄食能量分配在生长和卵巢发育的比例显著增加, 在低水平摄食组其分配比例分别达到56.22%和10.42%。以上结果表明: 在食物不足条件下, 食蚊鱼初次性成熟个体呈小型化, 但卵子大小稳定, 饵料转换率较高, 摄食能量分配在生长和繁殖上的比例增大, 这些特点有利于其适应不同入侵生境。

关键词: 食蚊鱼; 摄食水平; 生长; 能量收支; 初次性成熟

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)04-0828-08

摄食是鱼类唯一的能量收入来源, 摄食水平高低影响鱼类的生长速度、性成熟时间和繁殖能力^[1-3]以及能量收支中各组分的比率^[4-6]。初次性成熟是鱼类生长发育的一个重要阶段, 标志着个体生活史的一个重大转折, 是进行生殖活动的前提以及种群个体补充和延续的保障^[7]。鱼类初次性成熟个体的大小、性腺系数和成熟卵子数量等特征同样受到摄食水平的影响^[7-9]。

食蚊鱼(*Gambusia affinis*)为鲮形目(Cyprinodontiformes)小型卵胎生鱼类, 原产于北美洲^[10], 因其捕食蚊子而被许多国家作为一种生物工具引进^[11-13], 并对其生物学特征、生长或能量分配展开了研究^[14-16]。后因食蚊鱼适应力强、生长快和繁殖力高等特点, 已广泛扩散成为全球性分布的外来入侵种^[17-20]。以欧美为主的国家对食蚊鱼入

侵现象和入侵机制研究较多, 发现食蚊鱼主要通过入侵水域中饵料资源的利用和生存空间的竞争以及对土著物种的捕食^[21-23], 导致水生生态系统的演替、群落组成、种群结构发生较大的变化, 从而减少了生物多样性, 威胁到土著种(无脊椎动物、鱼类、两栖类)的生存^[13,18,24]。到目前为止, 中国在此方面报道较少^[20,25-26], 还未见到相关的实验研究报道。食蚊鱼要成功入侵, 首先要适应包括食物丰度变化的各种环境, 其次是要通过较快的生长繁殖速度以建立新的定居种群。但关于食蚊鱼从幼鱼至初次性成熟期间, 摄食水平对其生长、繁殖和能量收支影响的研究尚未见报道。本实验在不同摄食水平下测定雌性食蚊鱼幼鱼至初次性成熟期间的生长发育和能量分配, 探讨食蚊鱼应对环境变化的生物能量学策略, 旨在深入

收稿日期: 2010-11-04; 修订日期: 2010-12-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970555); 国家科技重大专项项目(2009ZX07211-009).

作者简介: 曾祥玲(1967-), 女, 博士研究生, 主要从事鱼类生态学研究. E-mail: zengxiangling620@126.com

通信作者: 林小涛, 教授, 博士生导师. E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn

研究食蚊鱼的入侵机制和生态预防提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源

2009年3月底用小拉网从广州番禺海鸥岛鱼类养殖塘进水沟中捕获体长约36 mm, 体质量约为1 000 mg的怀胎雌性食蚊鱼约200尾, 运回实验室暂养以生产仔鱼。收集同一天生产的1 000尾0日龄仔鱼, 饲养于1个水族箱(50 cm×50 cm×60 cm)中, 每天用足量活体卤虫(*Artemia salina*)无节幼体或冰鲜红虫(*Chironomus* sp.)饲养至25日龄。实验用水为经脱脂棉滤过后曝气48 h的自来水, 每日换1/2水量, 日光灯照明16 h, 光照强度约500 lx, 温度控制在(25±1)℃, 从24至25日龄时, 水温缓慢上升到27.5℃。饲养期间, 当雄性幼鱼出现生殖足时将其挑出, 至25日龄只剩下雌性幼鱼。经随机抽样检查, 此时其卵巢中初级卵母细胞已处于小生长期, 挑选470尾大小相近的25日龄雌性幼鱼作为实验材料。

1.2 实验设计及管理

实验在暨南大学水生生物研究所动物培养室进行, 采用冰鲜红虫作饵料, 设高摄食(饱食量)、中摄食(约1/2饱食量)、低摄食(约1/4饱食量)3个摄食水平(以下简称高食、中食和低食组), 各实验组设3个平行, 共9个组, 450尾25日龄雌性幼鱼被随机平分到各组中。本实验高食组指每次过量投喂, 培育水体中24 h均有饵料存在即可以任意摄食的实验组。根据预备实验和前一日龄的摄食量确定该日龄高食组的日投喂量, 由此计算中食和低食组的日投喂量, 每天分2次均量投喂(9:00和21:00)。

实验鱼饲养在3个可自动控温水族箱中的小网箱内。每个水族箱内挂置3个用不锈钢丝撑开的方形尼龙小网箱(150网目, 30 cm×15 cm×60 cm), 网箱上端开口, 高出水面约10 cm。两气石对称放入水族箱内两端, 在饲养网箱外均匀充气。9个小网箱对应9个实验组, 每个网箱饲养实验鱼50尾。实验开始时, 取20尾25日龄雌性幼

鱼作为初始各项生物指标的测量样本, 样鱼测定前均经过24 h饥饿, 以排空粪便。

实验过程中, 上午投喂前用虹吸法收集粪便。同一摄食组的3个平行组不同日龄的粪便各收集于同一称量瓶中, 置于-20℃保存。在实验的前、中和后期分别测定粪便的溶失率, 以校正粪便测定量。从吸出的沉淀物中挑出残饵, 采取逐个计数方法确定残饵量, 吸底后更换1/3水量。实验过程中水温控制在(27.5±0.5)℃, 光照条件和实验用水等与驯养相同。根据文献和预实验结果, 当肉眼观察雌鱼腹部出现明显黄棕色卵斑时即达到初次性成熟, 此时卵巢中第Ⅳ和第Ⅴ时相卵粒占第Ⅲ时相以上总卵粒数的90%以上^[7,12,14,27]。实验进行到45日龄时各组均发现成熟个体, 对达到初次性成熟的个体全部取样, 以后每隔5 d检查取出全部成熟个体, 至61日龄实验结束时, 各实验组成熟个体累计取样量均在40尾以上。

1.3 分析测试和数据处理

对实验初始随机取样的20尾25日龄雌性幼鱼的湿重、干重和鱼体干物质能量密度进行测定, 对实验中达到初次性成熟的个体, 各摄食组随机测量40尾鱼样的体长和体质量(体长用 Tricle brand 电子数显卡尺; 用 Sartorius 电子天平, max=220 g, d=0.1 mg), 活体解剖, 取出并称量肝脏和卵巢质量, 记数卵粒量并测量大小。其余样鱼直接或解剖后干燥, 以测量各物质的能量密度和含氮量。各物质干重均为湿体于60℃烘干至恒重后称量(Sartorius 微量电子天平, max=5 100 mg, d=0.001 mg)。能量密度采用德国产 IKA C4000 型氧弹式热量计测定, 含氮量用丹麦产的 FOSS Kjelttec 2300 凯氏定氮仪测定。

相关计算公式如下:

$$CF(\%) = W_w/L^3 \times 100\%;$$

$$HSI(\%) = (LW/W_t) \times 100\%;$$

$$GSI(\%) = (GW/W_t) \times 100\%;$$

$$SGR(\%) = (\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100\%;$$

$$FCE(\%) = (W_t - W_0/C) \times 100\%。$$

上式中, CF、HSI、GSI、SGR 和 FCE 分别代表食蚊鱼的丰满度、肝指数、性腺成熟系数、特定生长率和饵料转换效率; L 、 W_w 、 W_t 、 LW 、 GW

和 C 分别为实验结束时的鱼体体长(mm)、湿体质量(mg)、干体质量或能值(mg 或 J)、肝干重(mg)、性腺干重(mg)、累计摄食饵料总干重或能值(mg 或 J); W_0 为实验开始时 25 日龄食蚊鱼体的湿体质量、干体质量或能值(mg 或 J); t 为实验经历时间(d)。SGR(%)和 FCE(%)分别以湿重、干重和能量形式计算, 分别表示为 SGR_w 、 SGR_d 、 SGR_e 和 FCE_w 、 FCE_d 、 FCE_e 。

鱼类的能量收支采用 Tyler 和 Calow^[28]提出的基本模型 $C = F + U + R + P$, 式中, $P = P_g + P_r$, C 为摄食获得的能量; F 为排粪能; U 为排泄能; R 为代谢能; P 为总生长能; P_g 为躯壳生长能(不含性腺, 但包括消化道、肝脏等内脏); P_r 为性腺生长能。本研究食物能、排粪能和生长能为实测值; 排泄能 U 通过氮收支方程式由食物氮(C_N)、粪氮(F_N)和生长氮(P_N)的差值计算, 即 $U = 24.83(C_N - F_N - P_N)^{[1]}$; 代谢能 R 通过能量收支模型由差值法算得, 即 $R = C - P - F - U$ 。

各组数据用平均值±标准差表示。采用 Excel 2003 对实验数据进行处理和制表, 对不同摄食组间数据的差异采用单因素方差 (ANOVA) 多变量分析和 LSD 多重比较。

2 结果与分析

2.1 生长和饵料转换效率

实验投喂的红虫干物质能量密度为 (19.83 ± 0.66) kJ/g。实验开始时 25 日龄雌性幼鱼的平均湿体质量为 (61.95 ± 8.62) mg, 平均干体质量为 (16.84 ± 2.58) mg, 能量密度为 (21.72 ± 3.13) kJ/g。实验期间, 各实验组的成活率差异不显著 ($P > 0.05$), 均在 95% 以上。实验中各组在 45 日龄均出现不同比例的初次性成熟个体, 低食组的成熟速度小于中食和高食组, 至 60 日龄各摄食组成熟比例均达到 95%~100% (表 1)。各实验组生长情况见表 2。食蚊鱼初次性成熟时的体长、湿体质量、丰满度和能量密度均受摄食水平显著的影响 ($P < 0.05$), 皆随摄食水平的增加而加大。实验中低食组雌性食蚊鱼初次性成熟时的个体大小显著小于高食组 ($P < 0.05$)。

表 3 显示, 25 日龄雌性食蚊鱼到初次性成熟期间的特定生长率和饵料转化效率均受摄食水平显著的影响 ($P < 0.05$), 湿物质的特定生长率 (SGR_w) 和干物质特定生长率 (SGR_d) 和能量特定生长率 (SGR_e) 都随着摄食水平的增加而加大; 而湿物质饵料转换效率 (FCE_w) 和干物质饵料转换效率

表 1 不同摄食水平下各日龄雌性食蚊鱼达到初次性成熟的比例
Tab. 1 Individual proportion of *G. affinis* of different days of age getting to first sexual maturity at different ration levels
 $n=40$; $\bar{x} \pm SD$; %

摄食水平 ration	初次性成熟时间/d days of age at first sexual maturity			
	45	50	55	60
低 low	29.20±0.88	55.66±14.21	75.50±5.09	97.96±0.40
中 medium	14.39±3.90	59.44±11.32	86.20±3.39	100.00±0.00
高 repletion	8.00±0.16	41.50±17.75	60.60±11.31	94.62±3.56

表 2 不同摄食水平下雌性食蚊鱼初次性成熟时个体生长指标
Tab. 2 Body length, wet mass, fullness and calorific value in dry mass of *G. affinis* at first sexual maturity
at different ration levels
 $n=40$; $\bar{x} \pm SD$

摄食水平 ration	体长 /mm body length	湿体质量/mg wet mass	丰满度/% fullness	干体质量能量密度/(kJ·g ⁻¹) calorific value
低 low	17.98±0.98 ^a	104.41±3.31 ^a	1.76±0.04 ^a	19.08±0.07 ^a
中 medium	19.21±1.04 ^b	135.44±8.57 ^b	1.85±0.16 ^b	20.88±0.01 ^b
高 repletion	20.11±0.99 ^c	155.76±5.53 ^c	1.88±0.04 ^b	22.75±0.51 ^c

注: 同列不同小写字母表示不同摄食水平间的差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: The different lower letters in the column mean significant differences at different ration levels ($P < 0.05$).

表 3 不同摄食水平下雌性食蚊鱼幼鱼至初次性成熟期间特定生长率和饵料转换效率
Tab. 3 Specific growth rate and food conversion efficiency of *G. affinis* at different ration levels from juvenile stages to first sexual maturity

摄食水平 ration	特定生长率			饵料转换效率		
	SGR _w	SGR _d	SGR _e	FCE _w	FCE _d	FCE _e
低 low	2.02±0.11 ^a	2.41±0.25 ^a	1.1±0.22 ^a	7.34±0.43 ^a	24.25±3.06 ^a	23.14±13.29 ^a
中 medium	3.20±0.28 ^b	3.84±0.28 ^{ab}	2.98±0.31 ^b	6.73±0.94 ^a	23.31±2.97 ^a	25.55±8.95 ^{ab}
高 repletion	3.71±0.17 ^b	4.38±0.11 ^b	3.78±0.04 ^c	4.49±0.34 ^b	15.40±0.71 ^b	20.45±4.93 ^b

注: 同列不同小写字母表示不同摄食水平间的差异显著($P < 0.05$).
Note: Different lower letters in the column mean significant differences at different ration levels ($P < 0.05$).

(FCE_d)则随着摄食水平的增加而显著降低($P < 0.05$), 低食组的饵料转换效率均显著高于高食组。

2.2 初次性成熟性腺指标

表 4 显示, 摄食水平对卵巢中成熟卵粒数和性腺系数 (GSI)以及肝指数(HIS)皆有显著影响($P < 0.05$), 均随着摄食水平的增加而增加, 但摄食水平对初次性成熟卵巢中第Ⅳ和第Ⅴ时相卵母细胞的干重和卵径影响均不显著($P > 0.05$)。

2.3 能量分配

表 5 为 25 日龄雌性食蚊鱼幼鱼到初次性成熟期间, 平均每克干物质鱼体摄食总能量在各能量支出的分配比率。从表可见, 各摄食组整体上

摄食能消耗在呼吸代谢上的比例最大; 其次是分配于生长和繁殖; 而损失于排泄和排粪的比例较少。呼吸代谢的能量比例随摄食水平的增加而显著递增($P < 0.05$); 而分配在生长和繁殖上的能量比例随摄食水平的增加显著下降($P < 0.05$), 其中分配于生长和性腺上的最大能量比例均发生在低食组, 分别为 56.22%和 10.42%。

3 讨论

3.1 生长和卵巢发育

鱼类初次性成熟是指其性腺第一次发育达到成熟的状态^[27], 摄食对鱼类初次性成熟有重要影

表 4 不同摄食水平下雌性食蚊鱼初次性成熟时个体的性腺发育指标
Tab. 4 Development of ovary in *G. affinis* at first sexual maturation at different ration levels

摄食水平 ration	成熟性腺系数/% GSI	成熟卵粒数 Number of eggs	成熟卵粒干重/mg dry mass of egg	成熟卵粒直径/mm diameter of egg	肝指数/% HSI
低 low	14.93±4.58 ^a	3.95±0.38 ^a	1.25±0.12 ^a	1.54±0.07 ^a	2.11±1.12 ^a
中 medium	16.42±4.99 ^b	5.58±0.45 ^b	1.24±0.14 ^a	1.56±0.05 ^a	3.41±1.26 ^b
高 repletion	17.40±4.32 ^b	7.09±0.52 ^c	1.30±0.07 ^a	1.65±0.08 ^a	3.76±1.22 ^b

注: 同列不同小写字母表示不同摄食水平间的差异显著($P < 0.05$).
Note: Different lower letters in the column mean significant differences att different ration level ($P < 0.05$).

表 5 摄食水平对雌性食蚊鱼幼鱼至初次性成熟期间能量收支的影响
Tab. 5 Effects of ration levels on the energy budget of *G. affinis* from juvenile stages to first sexual maturity

摄食水平 ration	摄食能 $C(J \cdot d^{-1} \cdot g^{-1})$	粪能 /摄食能 F/C	排泄能 /摄食能 U/C	代谢能 /摄食能 R/C	生长能 /摄食能 P/C	躯壳生长能 /摄食能 P_g/C	性腺生长能 /摄食能 P_r/C
低 low	542.90±58.2 ^a	4.27±0.60 ^a	9.24±1.00 ^a	30.27±2.30 ^a	56.22±4.01 ^a	45.81±2.10 ^a	10.42±2.06 ^a
中 medium	932.79±120.61 ^b	3.12±0.83 ^a	10.16±0.92 ^b	48.26±3.10 ^b	38.46±3.67 ^b	31.37±2.60 ^b	7.09±2.80 ^b
高 repletion	1577.51±145.3 ^c	4.11±0.95 ^a	10.88±0.67 ^b	57.95±4.79 ^c	27.04±6.08 ^c	21.73±4.20 ^c	5.31±3.75 ^c

注: 同列不同小写字母表示不同摄食水平间的差异显著($P < 0.05$). $P/C = P_g/C + P_r/C$.
Note: Different lower letters in the column mean significant differences att different ration levels($P < 0.05$).

响^[7-9]。同大多数鱼一样^[4-6],摄食也是影响食蚊鱼生长发育和能量分配的重要因素^[15-16],但对其达到初次性成熟期间的影响尚未见报道。本实验开始时 25 日龄食蚊鱼雌性幼鱼性腺均处于 II 期,其卵母细胞中卵黄还未产生。实验结束时,各摄食组食蚊鱼卵母细胞卵黄皆正常发生和沉积,最终均可达到初次性成熟。

本实验中,摄食水平对食蚊鱼达到初次性成熟时的体长、湿体质量和能量密度皆有显著影响,低食组生长指标显著小于中食和高食组,其初次性成熟时个体最小(平均体长仅为 17.98 mm、湿体质量为 104.41mg),几乎接近 Pyke^[19]报道的在自然环境中食蚊鱼成熟的最小个体(体长 17~20 cm),小于 Ham^[29]报道的食蚊鱼一般最小怀胎个体体长(约 20 cm)。实验中,食蚊鱼的生长速度较大,即使在低食组的生长速度也高于其他一些淡水小型鱼类^[4,30];低食组饵料转换效率显著高于高食组。由于以上生长特征,虽然低食组的幼鱼达到性成熟时间有所延迟,初次性成熟个体更趋小型化,但仍具一定的繁殖能力,这使得食蚊鱼即使处于食物缺乏的生境,其繁殖活动和种群数量的补充仍得到一定程度的保证。

本研究结果发现,初次性成熟个体的性腺系数和成熟卵母细胞数量均受摄食水平显著影响,即随着摄食水平的增加,初次性成熟时的性腺系数和卵母细胞数量显著增加。实验中各摄食组的成熟卵粒较少,尤其是少食组,究其原因除摄食水平影响外,主要可能是初次性成熟的个体分配在性腺发育上的能量较非初次性成熟的繁殖个体少^[9],且自身个体也小于后者所致^[19]。Siddiqui^[8]报道摄食水平对杂交罗非鱼[*Oreochromis niloticus* (L.)×*Oreochromis aureus* (Steindachner)]初次性成熟繁殖力影响的结果与本研究相符合, Hester^[31]研究摄食水平对分批繁殖的成熟孔雀鱼(*Lebistes reticulatus*)的性腺发育影响也与本研究结果相似。食蚊鱼属典型分批繁殖的鱼类,卵巢中成熟的卵母细胞数量和性腺系数可反映其近期繁殖力和以后的繁殖潜力,初次达到性成熟的性腺系数越大,成熟的卵母细胞越多,其首批繁殖力越大。肝脏

是卵黄原蛋白合成的场所,肝指数的大小直接影响卵母细胞的成熟发育^[9]。本实验中高食组的成熟性腺系数、卵巢中成熟卵母细胞数和肝指数显著大于低食组。由此可见,在其他环境条件适宜的情况下,当饵料丰盈时,食蚊鱼性腺发育良好,具有较强的繁殖力,而当饵料不足时,卵巢的发育和繁殖力受到影响。但另一方面,在本实验各摄食水平下,食蚊鱼初次成熟的卵母细胞大小无显著差异,与潘炯华、刘灼见以及 Koya 等所饲养的正常摄食食蚊鱼成熟卵母细胞大小相近^[12,14,32]。卵巢中卵子质量会影响其后仔鱼的健康情况, Marsh 发现河鲈科镖鲈属 *Etheostoma spectabile* 卵巢中成熟卵母细胞的大小直接影响其后代仔鱼大小、生长发育和成活率^[33]。本研究发现在摄食不足情况下,尽管初次性成熟食蚊鱼的性腺系数和成熟卵母细胞数量显著减少,但卵巢中的成熟卵母细胞重量和直径大小却没有受摄食水平的影响。这说明在食物短缺时,虽然其初次成熟个体较小,繁殖力降低,但仍可达到性成熟状态,具有一定繁殖潜力,最终可能生产出健康的后代。这种通过减少数量来保障少数卵子的正常发生和成熟或许是食蚊鱼应对食物环境变化的一种繁殖策略。关于不同摄食水平下成熟卵子的受精以及产出仔鱼的健康程度和成活率等是否存在差异有待于进一步研究。

3.2 能量分配

鱼类为了更好地适应环境的变化,总是把摄入的能量以最佳模式分配到生长、繁殖和代谢上,以最大化地保证个体的成功繁殖和种群的延续^[15]。在本研究中,摄食水平对摄入能量分配有明显影响,尤其是对代谢耗能和用于生长的能量分配影响较大。有研究认为在鱼类能量收支中,代谢耗能或生长耗能分配比例最大,一般用于代谢耗能的比列随摄食水平的增加而降低,而生长能比列随摄食水平的增加而上升^[5-6]。但本研究食蚊鱼却呈现相反的情况,即随着摄食水平的增加,摄入能量消耗于代谢支出的比例上升,而用于生长的能量比例下降。Warren 也认同鱼类代谢耗能随摄食率的增加明显增大^[34],崔奕波研究发现真鲷总

代谢量与标准代谢的比值一般随摄食水平增加而增加^[4]。鱼类摄入的食物能量首先要满足基础代谢消耗的需要, 多余的能量才能用于生长。本研究同一日龄食蚊鱼体质量随摄食水平降低显著地减少, 所以当摄食水平低下时, 维持基础代谢所需能量亦减小, 同时由于摄食水平降低而使特殊动力作用(SDA)也随之下降, 从而使食蚊鱼在食物缺乏时可将更多的摄食能量分配于生长和繁殖上。唐启升等^[35]把鱼类的能量分配模式划分为较低代谢和较高生长; 高代谢和较低生长; 中等代谢和中等生长 3 种类型。据此, 本实验中食蚊鱼在高摄食条件下属于中等代谢中等生长类型; 而低摄食条件下属于较低代谢和较高生长类型。食蚊鱼作为一种外来物种, 能否在入侵地成功定居和扩散, 关键是能否在当地发育成熟、繁殖和建立一定规模的种群。因此, 为应对不良的摄食环境, 摄入的能量要最大化地分配到生长和发育上, 以使其迅速达到性成熟状态, 在短期内繁殖出下一代, 尽快建立优势种群以完成其入侵过程。如本研究中低摄食组食蚊鱼把摄入能量的 56.22% 分配于生长, 其中 10.42% 分配于初次性成熟的性腺发育上, 明显高于其他一些鱼类甚至是养殖的经济鱼类^[30,36], 这可理解为其在缺乏食物的情况下采取的生物能量学策略, 是一种适应入侵的生理机制。

4 小结

在食物不足的环境中, 食蚊鱼一方面通过较高食物转化效率, 并最大程度把有限的摄食能用于生长、性腺发育以达到性成熟状态; 另一方面, 在食物不足情况下通过减少卵子数量来保障部分卵子的正常发生和成熟, 保持一定的繁殖能力, 以保证种群的繁衍。这从另一个角度反映食蚊鱼应对环境变化的策略, 为阐述其生态入侵机制提供基础数据。

参考文献:

- [1] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 1989, 13: 369–383.
- [2] Bromley P J, Ravier C, Witthames P R. The influence of

feeding regime on sexual maturation, fecundity and atresia in first-time spawning turbot [J]. J of Fish Biol, 2000, 56: 264–278.

- [3] Wootton R J. The effect of size of food ration on egg production in the female three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* L [J]. J Fish Biol, 1973, (5): 89–96.
- [4] 崔奕波, 吴登 R J. 真鲷[*Phoxinus phoxinus* (L.)] 的能量收支各组分与摄食量、体重及温度的关系[J]. 水生生物学报, 1990, 14(3): 193–204.
- [5] 朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波. 摄食水平对异育银鲫生长和能量收支的影响[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(5): 471–479.
- [6] Fang J H, Tian X L, Dong S L. The influence of water temperature and ration on the growth, body composition and energy budget of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. Aquaculture, 2010, 299: 106–114.
- [7] 殷名称. 鱼类生态学[A]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 34–112.
- [8] Siddiqui A Q, Al-Harbi A H, Al Hafedh Y S. Effects of food supply on size at first maturity, fecundity and growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)×*Oreochromis aureus* (Steindachner), in outdoor concrete tanks in Saudi Arabia [J]. Aqu Res, 1997, 28: 341–349.
- [9] Yoneda M, Wright P J. Effects of varying temperature and food availability on growth and reproduction in first time spawning female Atlantic cod [J]. J Fish Biol, 2005, 67: 1225–1241.
- [10] Geiser S W. Notes relative to the species of *Gambusia* in the United States [J]. American Midland Naturalist, 1923, 8(8-9): 175–188.
- [11] Krumholz L A. Reproduction in the Western Mosquitofish, *Gambusia affinis* (Baird & Girard), and its use in mosquito control [J]. Ecolog Monogr, 1948, 18: 1–43.
- [12] 潘炯华, 苏炳之, 郑文彪. 食蚊鱼的生物学特性及其灭蚊利用的展望[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 1980 (1): 118–138.
- [13] Pyke G H. Plague Minnow or Mosquito Fish? A Review of the Biology and Impacts of Introduced *Gambusia* Species [J]. Annu Rev Ecol Evol Syst, 2008, 39: 171–191.
- [14] 刘灼见, 高书堂, 邓青. 食蚊鱼的性腺发育及性周期研究[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 1996, 42(4): 487–493.
- [15] Vondracek B, Wurtsbaugh W A, Cech J J. Growth and reproduction of the mosquito fish *Gambusia affinis*, in relation to temperature and ration level: consequences for life history [J]. Envir Biol Fish, 1988, 21: 45–57.

- [16] Chipps S R, Wahl D H. Development and Evaluation of a Western Mosquitofish Bioenergetics Model [J]. Trans Am Fish Soc, 2004, 133(5): 1150–1162.
- [17] Lowe S, Browne M, Boudjelas S, et al. 100 of the world's worst invasive alien species—A selection from the global invasive species Database [A]. Auckland, New Zealand: Invasive Species Specialist Group, World Conservation Union. 2000.
- [18] Hurlbert S H, Zedler J, Fairbanks D. Ecosystem alteration by mosquitofish (*Gambusia affinis*) predation [J]. Science, 1972, 175(4022): 639–641.
- [19] Pyke G H. A review of the biology of *Gambusia affinis* and *G. holbrooki* [J]. Rev Fish Biol Fish, 2005, 15(4): 339–365.
- [20] 严云志, 陈毅峰, 陶捐. 食蚊鱼生态入侵的研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 950–958.
- [21] Hamer A J, Lane S J, Mahony M J. The role of introduced mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) in excluding the native green and golden bell frog (*Litoria aurea*) from original habitats in south-eastern Australia [J]. Oecologia, 2002, 132: 445–452.
- [22] Lane S J, Mahony M J. Larval anurans with synchronous and asynchronous development periods: contrasting responses to water reduction and predator presence [J]. J Anim Ecol, 2002, 71: 780–792.
- [23] Becker A, Laurenson L J B, Jones P L, et al. Competitive interactions between the Australian native fish *Galaxias maculatus* and the exotic mosquitofish *Gambusia holbrooki*, in a series of laboratory experiments [J]. Hydrobiologia, 2005, 549: 187–196.
- [24] Caiola N, Sostoad A. Possible reason for the decline of two native tooth carps in the Iberian Peninsula: evidence of competition with the introduced Eastern mosquito fish [J]. J App Ichthyol, 2005, 21: 358–363.
- [25] 陈银瑞, 宇和纭, 褚新洛. 云南青鳉鱼类分类和分布[J]. 动物分类学报, 1989, 14(2): 239–246.
- [26] 陈国柱, 林小涛, 陈佩. 食蚊鱼(*Gambusia* spp.)入侵生态学进展[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4476–4485.
- [27] 叶富良, 张健东. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高档教育出版社, 2002: 10–190.
- [28] 泰特勒, 凯洛. 鱼类能量学—新观点[M]. 王安利, 译. 天津: 天津科技翻译出版公司, 1992: 1–4.
- [29] Ham R. The Ecology of Six Native and Two Introduced Fish Species in the Enoggera Creek system, South-East Queensland [D]. B Sc (Hons) Griffith University, Brisbane, 1981, 157.
- [30] 朱晓鸣, 解经启, 崔奕波, 等. 摄食水平和性别对稀有鮡鲫生长和能量收支的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 2470–2477.
- [31] Hester J F. Effects of food supply on fecundity in the female guppy, *Lebistes reticulatus* (Peters) [J]. Fish Res Board Can, 1964, 21: 757–764.
- [32] Koya Y, Inoue M, Naruse T, et al. Dynamics of oocyte and embryonic development during ovarian cycle of the viviparous mosquitofish *Gambusia affinis* [J]. Fish Sci, 2000, 66: 63–70.
- [33] Marsh E. Effects of Egg Size on Offspring Fitness and Maternal Fecundity in the Orangethroat Darter, *Etheostoma spectabile* (Pisces: Percidae) [J]. Copeia, 1986, 10 (1): 18–30.
- [34] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish. In: The biological basis of freshwater fish production [A]. Ed by S D Ger king. Oxford: Blackwell, 1967: 175–214.
- [35] 唐启升, 孙耀, 张波. 7 种海洋鱼类的生物能量学模式[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 443–449.
- [36] Xie X J, Long T C, Zhang Y G, et al. Reproductive investment in *Silurus meridionalis* [J]. J Fish Biol, 1998, 53: 259–271.

Effects of food ration on growth and development of ovary and energy budgets of *Gambusia affinis*

ZENG Xiangling, LIN Xiaotao, XIA Xinjian, XU Zhongneng, SUN Jun

Engineering Research Center of Tropical and Subtropical Aquatic Ecological Engineering, Ministry of Education, Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Abstract: This study investigated the effects of food ration on growth and development of ovary and energy budgets of female *Gambusia affinis* from 25-day post-hatch (DPH) to first sexual maturity. The 25-day old *G. affinis* with oocytes with the slowest growth stages were selected randomly, and placed in aquarium cages in the laboratory at $(27.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, and given three food ration levels (low, medium and high [repletion]). Environmental adaptability and food supply data were analyzed to identify invasive mechanisms of *G. affinis*. Results showed that at the onset of sexual maturity, body length, wet mass, fullness, specific growth rate, hepatosomatic index, gonadosomatic index, numbers of mature eggs and calorific value significantly increased with increasing ration levels. There were no significant differences in dry mass and diameter of mature eggs under different ration conditions. Fish body size at the onset of sexual maturity was minimal with low food ration (average length of $17.98 \text{ mm} \pm 0.98 \text{ mm}$ and average wet weight of $104.41 \text{ mg} \pm 3.31 \text{ mg}$). Feed conversion efficiencies in dry and wet weights decreased with increasing ration levels, and feed conversion efficiencies at low ration were significantly higher than those at repletion rations. The proportion of food energy allocated to growth and ovaries increased with decreasing ration levels. The maximum proportion of food energy allocated to growth was 56.22%, and that allocated to ovaries was 10.42% when low food rations were provided. Thus, when *G. affinis* were experiencing food shortages, the body sizes of the individuals at first sexual maturity decreased. In addition, feed conversion efficiencies increased, and the proportion of food energy allocated to growth and reproduction increased. This physical adaptation may be beneficial for *G. affinis* ecological invasions.

Key words: *Gambusia affinis*; food ration; growth; energy budget; first sexual maturity

Corresponding author: LIN Xiaotao. E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn